

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU

FACULDADE DE GESTÃO DE NEGÓCIOS

Túlio Ferreira Valeri

**APLICABILIDADE DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA
ROTEIRIZAÇÃO DE VISITAS DE REPRESENTANTES DE EMPRESAS AOS
CLIENTES**

Uberlândia, MG

2019

TÚLIO FERREIRA VALERI

**APLICABILIDADE DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA
ROTEIRIZAÇÃO DE VISITAS DE REPRESENTANTES DE EMPRESAS AOS
CLIENTES**

Trabalho de Conclusão De Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como exigência parcial para o
título bacharel em Administração

Orientação: **Profª Dra. Carla Bonato Marcolin**

Uberlândia, MG

2019

TÚLIO FERREIRA VALERI

APLICABILIDADE DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA ROTEIRIZAÇÃO
DE VISITAS DE REPRESENTANTES DE EMPRESAS AOS CLIENTES

Trabalho de Conclusão De Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como exigência parcial para o
título bacharel em Administração

Orientação: Profª Dra.Carla Bonato Marcolin

Uberlandia, 09 de Julho de 2019

Banca Examinadora

Carla Bonato Marcolin.

Kleber Carlos Ribeiro Pinto.

Leonardo Caixeta de Castro Maia.

Resumo

Este estudo aborda o Problema do Caixeiro Viajante - CV, e sua aplicabilidade no planejamento de rotas de representantes, tendo como objetivo aplicar a técnica PCV para reduzir os gastos de combustível, através de um planejamento de rotas que possibilite a redução das distâncias percorridas em visitas de um representante de produtos médicos aos seus clientes. Além de redução de custos operacionais para a empresa, é necessário programar rotas de percursos, horários, alocação, como aspectos da qualidade da logística. O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um problema clássico de otimização combinatória e recebe este nome singular devido à analogia estabelecida com o movimento de um profissional que traça seu roteiro de viagem por diversas cidades a partir do seu ponto de origem, buscando a rota mais curta a percorrer, sem passar pelo mesmo local mais de uma vez. Na conclusão, após a aplicação do Problema CV, o caminho ótimo feito através do programa Solver que demorou 1 minuto e 10 segundos para ser resolvido pelo Excel no Notebook Dell Inspiron, Core i7-7500 CPU 2.9 GHz 7ª geração, com 16GB de memória RAM e SSD de 250GB Samsung.

Palavras-Chave: Problema Caixeiro Viajante. Redução de distâncias. Economia de gastos.

Abstract

This study approaches the Traveling Salesman Problem - CV, and its applicability in the planning of representative routes, aiming to apply the PCV technique to reduce fuel expenses, through a route planning that allows the reduction of the distances traveled in visits from a medical product representative to your customers. In addition to reducing operating costs for the company, it is necessary to plan route routes, schedules, allocation, as aspects of logistics quality. The Traveling Salesman Problem (PCV) is a classic problem of combinatorial optimization and is named after the analogy established with the movement of a professional who traces his travel itinerary through several cities from his point of origin, searching for the route to go, without going through the same place more than once. In conclusion, after applying the CV Problem, the optimal path made through the Solver program which took 1 minute and 10 seconds to be solved by Excel in the Dell Inspiron Notebook, Core i7-7500 CPU 2.9 GHz 7th generation, with 16GB of RAM and Samsung 250GB SSD.

Keywords: Traveling Salesman Problem. Reduction of distances. Cost savings.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	07
2.1 Logística: Conceitos.....	07
2.2 Pesquisa operacional – PO e a Programação Linear.....	08
2.3 Problema do Caixeiro Viajante.....	15
2.3.1 Problema do Caminho mais Curto.....	11
2.3.2 Problema do Caixeiro Viajante.....	15
3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	16
4 CASO DO ROTEAMENTO DE VIAGEM DO REPRESENTANTE COMERCIAL.....	18
5 RESULTADOS.....	20
6 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS.....	25
ANEXO.....	26

APLICABILIDADE DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA ROTEIRIZAÇÃO DE VISITAS DE REPRESENTANTES DE EMPRESAS AOS CLIENTES

Túlio Ferreira Valeri¹
Profª Dra. Carla Bonato Marcolin²

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a concorrência no mundo empresarial é extremamente acirrada em todos os nichos de mercado. Assim, as organizações se veem diante de inovações tecnológicas diárias que outras concorrentes adotam ou adquirem na busca de otimização de seus negócios, seja a produção de bens de consumo ou a prestação de serviços. O empenho nessa concorrência é oferecer aos clientes/consumidores um diferencial que represente vantagem competitiva. Uma empresa que atua com competência atrai a atenção de novos consumidores contribuindo, assim, para a otimização da lucratividade da organização e para tanto, é preciso uma atenção especial voltada para os seus custos operacionais (SPANCERSKI et al. 2017; MARA, 2013).

Define-se como custos operacionais os gastos “destinados ao funcionamento do negócio, de rendimento imediato e pragmático, ou seja, sem a necessidade de expectativas posteriores uma vez que sua função consiste em permitir e facilitar a subsistência de uma atividade comercial.” Para que seja rentável, é necessária uma logística bem planejada e gerida com competência (COELHO, 2010, p.01).

A redução de custos operacionais não é o bastante para agregar valor e a empresa necessita construir mais estratégias competitivas visando as possibilidades de conquista de mercados maiores. É necessário programar rotas de percursos, horários, alocação, como aspectos da qualidade da logística de uma empresa. Este movimento pode ser de mercadorias a serem recebidas ou entregues por fornecedores, ou o deslocamento de representantes que necessitam revisitar clientes, entre outras atividades de visitas, vendas ou entrega de produtos. Na busca de soluções viáveis há várias técnicas a serem adotadas para maximizar e otimizar este

¹ Graduando do curso de Administração da Universidade Federal de Uberlândia.

² Prof. Dra. da Faculdade de Gestão e Negócios da Universidade Federal de Uberlândia (FAGEN/UFU).

movimento e, entre elas, a opção pelo Problema do Caixeiro Viajante tem sido uma escolha eficiente para efetuar cálculos de rotas (PORFÍRIO, 2017; MARA, 2013).

A gestão de rotas tem como benefícios a redução de custos e otimização dos processos de logística, e o uso de tecnologias tornam essas operações eficazes. Define-se como logística o encadeamento de processos que devem ser coordenados com competência, envolvendo todos os passos desde a matéria prima até produto final entregue ao consumidor final, incluindo a logística reversa que é o retorno de produtos com defeito à empresa fornecedora (BALLOU, 2009). Neste sentido, os processos são planejados de acordo com um esquema de rotas utilizando-se o PCV.

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um problema clássico de otimização combinatória e recebe este nome singular devido à analogia estabelecida com o movimento de um profissional que traça seu roteiro de viagem por diversas cidades a partir do seu ponto de origem, buscando a rota mais curta a percorrer, sem passar pelo mesmo local mais de uma vez. O planejamento desta rota deve ser eficaz a ponto de satisfazer o cliente e a empresa que representa (PRESTES, 2006).

Os caminhos a serem percorridos em qualquer circunstância no PCV podem ser simétricos, que define a mesma distância a ser percorrida na ida e na volta de um roteiro, ou assimétricos que considera distâncias diferentes. A versão assimétrica é mais pragmática devido à dinâmica do trânsito que, nem sempre permite o retorno pelo mesmo caminho da ida (PRESTES, 2006).

Este estudo aborda o Problema do Caixeiro Viajante e sua aplicabilidade no planejamento de rotas de representantes, tendo como objetivo aplicar a técnica PCV para reduzir os gastos de combustível, através de um planejamento de rotas que possibilite a redução das distâncias percorridas em visitas de um representante de produtos médicos aos seus clientes.

A abordagem considera como aspectos essenciais na logística: o tempo, os custos operacionais e as distâncias ao traçar as rotas almejadas.

A logística eficiente numa empresa envolve projetos elaborados como estratégia de rotas de veículos nas entregas, gestão do armazenamento dos produtos, percurso de vendedores ou representantes aos clientes ou visitas a possíveis novos clientes. A fidelização dos clientes existentes, bem como a conquista de novos, condiciona-se aos valores agregados que os consumidores percebem a partir da qualidade dos produtos, atendimento às vendas e a qualidade pós-vendas, fatores

que agregam valor à empresa e seus produtos. Estes argumentos justificam a escolha do tema.

São várias as possibilidades de utilização de modelos de roteamento de veículos. Assim, os sistemas devem possuir algoritmos de busca da solução utilizando metodologias eficientes e que sejam adaptadas para operar em diversos tipos de operações. Neste estudo, busca-se apresentar a possibilidade de economia nos gastos de combustível para o percurso de grandes distâncias por profissionais de vendas em visitas aos clientes. Para otimizar as rotas é usada a técnica do Problema do Caixeiro Viajante

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Logística: Conceitos

A dinâmica de processos nas empresas representa uma ferramenta competitiva em relação ao atendimento ao cliente em tempo hábil, para satisfação do consumidor de acordo com suas expectativas. Assim, os espaços de mercado são conquistados com ofertas de qualidade de serviços e produtos. É nesse âmbito que se destaca a logística como ferramenta competitiva quando bem planejada, sendo utilizada em todos os setores de uma empresa, desde a compra de uma matéria prima, até a entrega do produto final ao destino para o qual se destina a produção (PAOLA, 2013).

Segundo Ballou (2009), a logística é definida como a conjuntura de quatro atividades fundamentais: aquisição, movimentação, armazenagem e entrega de produtos e, para que este conjunto seja funcional, é necessário um planejamento logístico e a interatividade dos processos. Neste sentido, a logística refere-se a cada tarefa necessária para que o produto chegue até o cliente com qualidade e rapidez, sendo, entretanto, indispensável, o planejamento eficiente.

Conforme afirmam Santos Neto e Santana (2015, p.99),

No passado a logística compreendia o transporte de alimentos e munição para as tropas no campo de combate. Atualmente, representa o controle de processos gerenciais, desde o transporte para entrada de matéria prima nas empresas até a distribuição de produtos ao consumidor final. Hoje, a logística faz parte, das disciplinas que atuam na alta administração das organizações, incluindo toda a parte de movimentação de produtos e informações em toda uma cadeia de suprimento. A importância da logística está justamente na hora que a empresa se encontra com dificuldades. O empresário considera

que o problema pode ser resolvido com uma reestruturação nos seus processos operacionais, principalmente no sistema logístico.

Segundo estes mesmos autores, a logística envolve a conexão de informações, condução, acervo, armazenamento, manejo de materiais e embalagem. Para a fidelização de clientes, “a empresa necessita dedicar-se a eles, buscando os subsídios, conhecimentos, produtos e serviços modernos, investindo em tecnologia e processos bem-sucedidos.” (SANTOS NETO; SANTANA, 2015, p.100).

Para uma análise eficiente visando soluções logísticas de recebimentos, entregas, visitas de representantes ou vendedores, entre outros aspectos que se referem à inter-relação da empresa com seu público consumidor, é relevante a aplicação da pesquisa operacional, conforme definida a seguir.

2.2 Pesquisa operacional e a Programação Linear

A Pesquisa Operacional (PO) interliga-se aos processos logísticos e, segundo Coelho (2010, p.01), “sistemas produtivos, industriais e gerenciais podem fazer uso das técnicas de Pesquisa Operacional para alcançar um desempenho superior.” Trata-se de métodos que requerem a modelagem matemática e visam a otimização de problemas reais. A Pesquisa Operacional usa algoritmos que otimizam e assegurem bons resultados na tomada de decisões. O problema de roteamento de veículos para visitas de representantes comerciais aos seus clientes, é um caso para a aplicação de métodos combinatórios da PO para a minimização de custos operacionais nessa prestação de serviços.

Para Coelho, (2010, p.101), a Pesquisa Operacional,

Busca encontrar o valor máximo (de lucro, performance, aproveitamento) ou mínimo (de risco, de custo). É importante ressaltar que do ponto de vista da PO, quando se fala em máximo ou mínimo está implícito que não existe nenhuma outra solução melhor, ou seja, a solução encontrada é provada matematicamente como sendo a melhor de todas as soluções possíveis. Esta solução é chamada de ótima e o sistema é dito otimizado.

Segundo Taha (2008), a PO oferece mais de uma opção de solucionar problemas, isto é, não tem uma técnica-padrão para os modelos matemáticos que surgem na prática, uma vez que a característica do problema é que determina qual o

caminho para a solução. Há técnicas da PO como a programação dinâmica, a otimização de rede e a programação não linear, além de apresentar soluções através de algoritmos que dispõem de normas fixas de cálculos a serem utilizadas diversas vezes ao mesmo problema denominadas iterações (repetições) que se viabilizam com o uso do computador.

A PO compõe-se de métodos eficientes e eficazes para a resolução de um problema típico em curto espaço de tempo, que considera a busca de uma solução viável através do uso de ferramentas computadorizadas de alta performance, que se não fosse consideradas, exigiriam mais dias para solucionar e isto representa inconveniência para as emergências de uma empresa (COELHO, 2010).

Segundo Arenales et al., (2007, s/p), a “Pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos, para auxiliar no processo decisório de projetos, planos, operações de sistemas em situações que requerem respostas eficientes para recursos escassos.”

Para atingir o objetivo do trabalho, um conceito importante é o de roteirização, que diz respeito ao trajeto e sequência de clientes que se deve percorrer, seja na entrega de produtos ou na visita de vendedores aos clientes. Este é um problema que busca otimização devido à sua complexidade na escolha de uma rota funcional e de gastos menores, sem prejudicar a empresa ou o cliente. O interesse principal é não passar pelo mesmo cliente duas vezes, além de considerar a capacidade de carga de cada veículo.

Dentre as categorias de roteirização, a solução pode requerer um algoritmo, sendo necessário o uso de “heurísticas e métodos aproximativos para obter soluções viáveis.” (COELHO, 2010, p.02). As técnicas de pesquisa operacional são amplamente empregadas na solução de problemas operacionais, táticos ou estratégicos na produção e logística.

Entre as técnicas a PO é uma das mais divulgadas, pois as singularidades de um problema são representados por um conjunto de equações e inequações lineares que requer procedimentos matemáticos para soluções do problema apresentado (RODRIGUES et al., 2014).

Ao recorrer ao uso da PO, o analista deve tratar das informações de custos, lucro, consumo de recursos, produtividade e restrições operacionais, além de definir as incógnitas do problema a resolver.

Um ramo da PO estuda heurísticas de solução de problemas, que são métodos “inteligentes” para se encontrar uma boa solução de um problema típico em pouco tempo, visto que às vezes a solução ótima pode levar muitas horas para ser encontrada, mesmo em supercomputadores. “Quanto mais complexo um modelo, melhor ele representa a realidade, e em geral, mais difícil é sua solução.” (COELHO, 2010).

A Programação Linear (PL) é uma das técnicas da Pesquisa Operacional que é utilizada para otimizar diversos tipos de problemas operacionais, podendo-se citar entre eles a programação da produção, a escolha de mix de produção, a determinação roteirística, os planos de investimentos e outros.

Conforme Rodrigues et al. (2014), nem sempre os problemas de otimização com o uso de PL têm por objetivo a minimização de custos ou maximização de lucratividade ou faturamento. A roteirização pode ser delineada pela PL, para que a distância a ser percorrida seja menor (ir até um estádio de futebol e voltar para casa, por exemplo), podendo-se reduzir o tempo de deslocamento.

Rodrigues et al. (2014, p.10), assinalam que:

Outra opção seria minimizar o deslocamento total em quilômetros a serem percorridos, ou ainda o custo de transporte. Sendo assim, pode-se minimizar ou maximizar segundo uma variedade de critérios em uma modelagem de Programação Linear, desde que esta seja coerente. Problemas mais simples podem ser resolvidos com relativa facilidade através do “método gráfico”. Na maioria das vezes podemos usar o método para problemas com até duas variáveis. Para facilitar, usam-se algoritmos.

Os autores apontam cinco passos para a identificação de possíveis variáveis na elaboração esquemática de aplicar o Programa Linear (Figura 1).

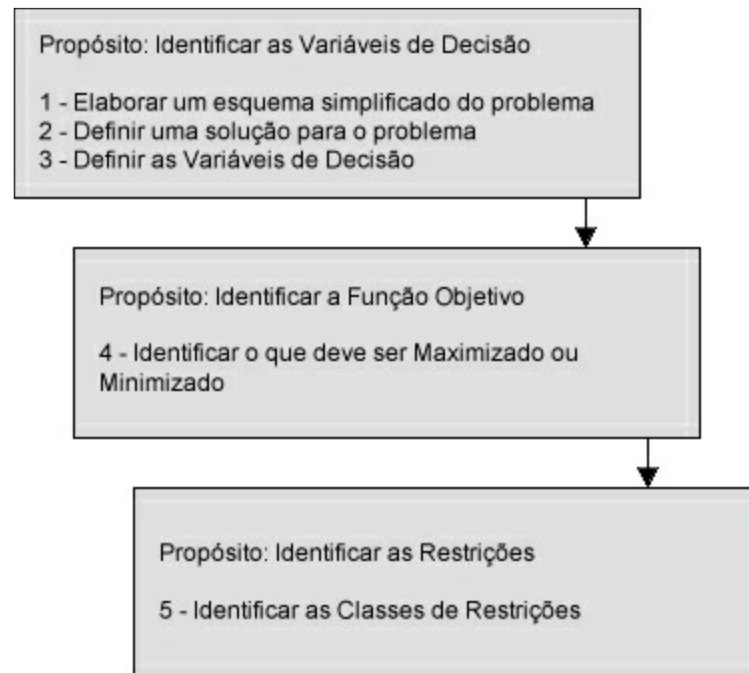


Figura 1. Programação Linear: Cinco passos para modelar o problema.

Fonte: Rodrigues et al. (2014, p.15)

A determinação de rotas de visitas e entregas em tempo hábil e satisfatório para a empresa e clientes constitui o Problema do Caixeiro Viajante apresentado a seguir.

2.3 Problemas de Rede

2.3.1 Problema do caminho mais curto

As práticas eficientes de gestão de logística dependem de decisões eficazes no setor onde as facilidades de estoques e transporte sejam acessíveis minimizando custos operacionais, sendo um dos principais pontos “a atividade de transporte de mercadorias e definição do percurso ou rota de entrega a ser feito pelos veículos, reduzindo despesas.” (PÓVOA, 2007, p. 02)

Póvoa (2007) complementa seu raciocínio afirmando que o trajeto a ser percorrido em determinada situação através de um conjunto de vias que têm um ponto de origem diferente dos pontos para onde destinam pessoas ou coisas. O problema a

ser resolvido é o caminho mais curto e vantajoso a ser feito entre os pontos de origem e os de destino. Mas, há ainda a questão de:

[...] quando existem múltiplos pontos a serem entregues e um único ponto de chegada e partida (problema do caixeiro viajante). Existe ainda o problema de roteamento de veículos, onde o objetivo é definir qual veículo vai atender uma determinada rota, e ainda estabelecer roteiros que minimizem o custo total de atendimento (PÓVOA, 2007, p.02).

O mesmo autor identifica os problemas e métodos de solução, conforme se seguem:

Caminho mais curto: problema bastante conhecido e tem por objetivo ajustar o menor percurso entre o ponto de partida e o de chegada, para o qual se usa uma estrutura matemática representando as redes viárias.

O caminho mais curto é composto por nós, locais calculados com pontualidade para os fluxos da origem quanto se originam ou terminam, e arestas, que conectam os nós e representam o fluxo. Esta estrutura apresentada na Figura 2 é composta por nós, ou seja, localizações pontuais onde os fluxos se originam ou terminam, e arestas, que conectam os nós e representam os referidos fluxos.

Quando há interesse em saber qual o caminho mais curto ou mais rápido, a partir de uma rede direcionada com vários pontos entre a origem e o destino, o algoritmo de Dijkstra é um modelo que pode ser procurado. Neste sentido, Póvoa (2007, p.03) afirma que o algoritmo mais usado para solucionar o problema é o algoritmo de Dijkstra, pois o “tempo computacional de solução do mesmo é bastante rápido e não requer a utilização de algoritmos aproximativos (heurísticas).”

Roteamento de veículos (PRV) - é a definição de rotas que reduzam os custos de atendimento ao cliente, iniciando-se e encerrando-se cada um na base central de concentração da frota, assegurando-se que as visitas ocorram uma única vez sem restrições e sem falhas. Um aspecto fundamental é que cada demanda seja atendida de acordo com a capacidade da frota.

É importante determinar um só ponto de partida (depósito) e, neste caso, assim o algoritmo deve ser elaborado. O problema de roteirização de veículos é aplicado em empresas de distribuição e transporte de cargas que chegam a roteirizar um grande contingente de clientes diariamente, porém, possuem uma grande frota para responder à demanda (PÓVOA, 2007). Veja-se a Figura 2.

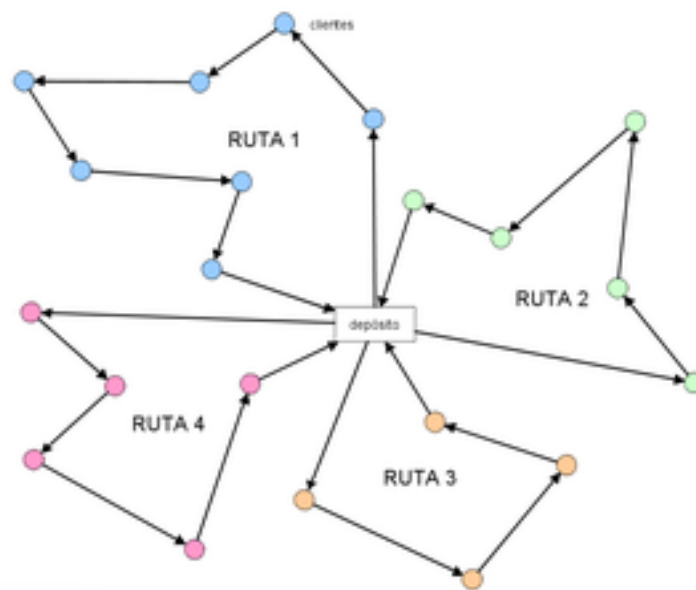


Figura 2. Problema de roteamento de veículos.
Fonte: Logística Descomplicada, 2018

Problema de varredura para solução de distribuição – Para Ballou (2009), trata-se de um método simples e de processamento rápido com baixo risco de erros (cerca de 10%), ou seja, possui um índice de precisão conveniente para situações em que há limitações para o tomador de decisões. Assim, a melhor escolha é uma solução razoável quanto ao tempo, do que uma solução ótima que demande mais prazo para tomada de decisões.

Este método é interessante quando a demanda de clientes é grande e quando há necessidade de rapidez de resposta na formatação de cargas, processamento operacional e expedição dos veículos. Também é indicado quando há restrições como capacidade de carga, tempo de entrega, horário de maior fluxo no trânsito (BALLOU, 2009).

Para Póvoa (2007, p.04), “encontrar a solução exata para esses problemas é praticamente impossível na realidade e, assim, a utilização de heurísticas se faz necessária, podendo-se citar, GRASP, VNS e algoritmos genéticos (Figura 3).

[...] não existem algoritmos com limitação polinomial capazes de resolvê-lo. Assim a quantidade de passos de um algoritmo que possa solucioná-lo otimamente não pode ser dada por uma função polinomial do tamanho de sua entrada. Logo, apenas os problemas de pequeno porte podem ser solucionados de forma ótima (BENEVIDES, 2012, p.17).

A solução buscada para resolver o problema NP-Hard nem sempre é simples. Algumas são sugeridas e as abordagens de algoritmos heurísticos apresentam respostas aproximadas da solução ótima, embora sejam parciais e, conforme referido neste estudo, são dependentes de tempo e distância, enquanto o volume de grandezas influencia o processo computacional. Citam-se a seguir heurísticas diversas para a solução do NP-Hard segundo as condições exemplificadas com o Problema Caixeiro Viajante, com base em Benevides et al. (2012).

Construção de Rotas: as heurísticas para a construção de rotas PCV são algoritmos que criam um trajeto viável a partir de um conjunto inicial de vértices sendo modificado a cada interação, utilizando algum critério de escolha. Este processo busca boas respostas por um custo computacional razoável, porém, não assegura a otimização, e até mesmo de em vários casos, de estabelecer quão perto está de uma dada solução viável ótima (BENEVIDES, 2012, p.19).

Os autores sugerem os seguintes procedimentos técnicos nessa construção: Procedimento do vizinho mais próximo; Inserção do mais próximo; Inserção do mais distante; Inserção mais rápida; Inserção do Mais Barato, Inserção Arbitrária, Cobertura Convexa, Inserção do Maior Angulo e outros. Após a aplicação dessas técnicas podem ser promovidas Heurísticas de Melhorias de rotas.

Entre os métodos de roteirização mais utilizados, está o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que consiste em traçar uma rota que retorne o menor percurso, partindo de um ponto, visitando todos os outros somente uma vez e retornando ao ponto de origem (BALLOU, 2009).

2.3.2 Problema do Caixeiro Viajante

Caixeiro viajante (rota multiponto) para Póvoa (2007), é o conjunto de pontos ou clientes a serem visitados e um ponto de partida. Conhecido como Problema do Caixeiro Viajante, tem a finalidade de apontar a sequência otimizada para minimizar custos totais da rota pela qual os clientes são visitados numa única vez (Figura 4).

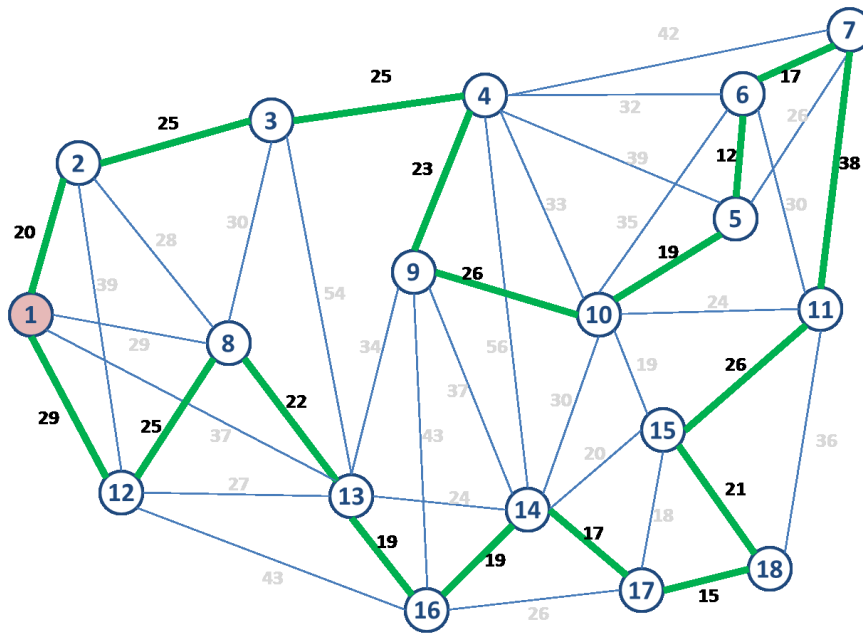


Figura 4: Caixeiro Viajante - Rota Multiponto
Fonte: PÓVOA, 2007

O Problema do Caixeiro Viajante – PCV, pode ser aplicado em diversos momentos a partir de uma central de distribuição, cria o trajeto de veículos de entregas de forma otimizada. No entanto, é funcional na prática para criar um algoritmo que envolva até 20 clientes, uma vez que o tempo computacional e procedimentos relacionados são mais demorados.

O PVC busca encontrar o circuito fechado mais curto em uma situação de n cidades em que, cada cidade é visitada apenas uma vez. Trata-se de um modelo de designação excluindo subcircuitos. A figura 5 demonstra o problema em cinco cidades:

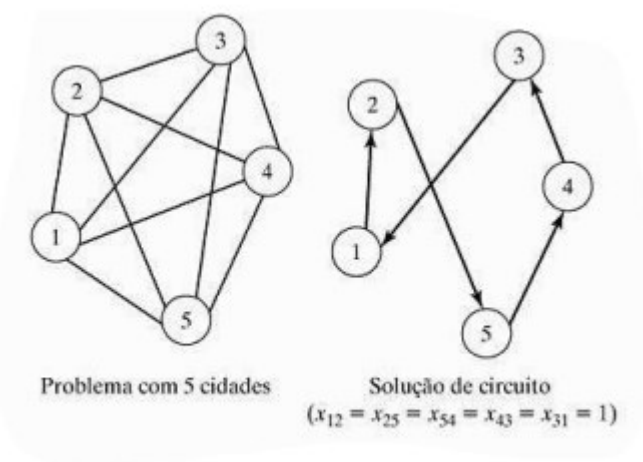


Figura 5. Problema em 5 cidades e a solução de circuito.
(Fonte: Berger, 2015)

Na figura 5, os arcos representam rotas de duas vias e ilustra uma solução de circuito e de subcircuitos de designação associado. Se a solução ótima apresentada produz um circuito, é indicada também para outras soluções como no caso do TSP (Traveling Salesman Problem) de difícil solução (não discutido neste estudo) e que compõe “[...]um clássico da carreira de algoritmos, teoria dos grafos, otimização combinatória e tantas outras áreas de estudos computacionais e matemáticos.” (BERGER, 2019, p.01).

O próximo capítulo refere-se à metodologia utilizada neste estudo com a apresentação de um caso de representante comercial.

3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Um estudo requer método para ser desenvolvido. O método deve ser um caminho que possa garantir a melhor interpretação das questões relativas a determinada pesquisa, segundo a perspectiva do pesquisador (OLIVEIRA, 2001). Levando-se em conta o objetivo delineado, este estudo pode ser classificado como quantitativo, pois apresenta uma proposta matemática estruturada com base no Problema do Caixeiro Viajante, além de revisão da literatura que explora estudos anteriores de outros autores sobre o tema discutido.

Segundo o mesmo autor, método quantitativo caracteriza-se pelo emprego da quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde a mais simples frequência, percentual, média, desvio-padrão, às mais complexas, como coeficiente de correlação, análise de regressão etc.

De acordo com Gil (2002), não há um tipo de pesquisa que possa ser apontado como suficiente para o desenvolvimento de um estudo. Assim, os métodos mesclados complementam-se. Neste estudo mesclam-se a pesquisa descritiva e quantitativa na apresentação de um caso como exemplo da aplicação do Problema Caixeiro Viajante. Pesquisa descritiva é um desenvolvimento teórico com base em literatura que não envolve cálculos e estatísticas, mas descreve as teorias sobre um determinado contexto, desenvolvidas por outros estudiosos.

Quanto à análise de um caso, é um procedimento de avaliação da realidade organizacional e de negócios de uma empresa que permite verificar no local as evidências quanto às argumentações teóricas, bem como observar novos elementos

a serem considerados. Segundo Gil (2002), a principal limitação de análise de caso é a dificuldade em generalizar os resultados obtidos, devido ao fato de o objeto estudado ter um caráter particular.

4 CASO DO ROTEAMENTO DE VIAGEM DO REPRESENTANTE COMERCIAL

Neste artigo, apresenta-se um exemplo de caso demonstrando que o método para a solução do Problema do Caixeiro Viajante pode ser aplicado como solução, determinando rotas percorridas por um representante de produtos médicos, com economia de tempo entre as visitas e de gastos com combustível, visando o bom atendimento e satisfação dos clientes.

A empresa Eurofarma SA é uma indústria do ramo farmacêutico. Para impulsionar suas vendas, utiliza propagandistas vendedores em todo o Brasil para visitarem médicos e divulgarem sobre os medicamentos e produtos fornecidos pela empresa. Essas visitas têm o propósito de mostrar aos médicos as vantagens de se prescrever determinado medicamento.

Como são muitos médicos na região, cada propagandista fica responsável por sua área e quantidade de médicos. A visita acontece em vários pontos da cidade, sendo necessário planejar uma rota ótima para otimizar o tempo e reduzir as distâncias percorridas.

O problema aplicado neste trabalho ocorreu na cidade de Uberlândia referente a três dias de trabalho. Foram estudados 15 pontos de visita médica (não contando com o ponto de partida 0 que é o ponto de partida para todo e qualquer outro ponto de visita). Os endereços utilizados na pesquisa foram os pontos:

PONTO	ENDEREÇO	QUANTIDADE DE MÉDICOS	PONTO	ENDEREÇO	QUANTIDADE DE MÉDICOS
0	Rua Pirapuã, 130	0	8	Rua Rio Corumbá, 1190	1
1	Rua Santa Catarina, 2825	7	9	Avenida Algo Borges Leão, 15	1
2	Avenida Siqueira Campos, 101	6	10	Rua dos Trombones, 465	1
3	Avenida Cabanadas, 330	1	11	Rua Matheus Vaz, 465	23
4	Avenida José Andraus Gassani, 5464	1	12	Rua Maximiliano Carneiro, 15	1
5	Rua Diabase, 297	1	13	Avenida José Fonseca e Silva, 1227	1
6	Rua da Polca, 601	2	14	Avenida José Fonseca e Silva, 158	1
7	Rua Rio Citare, 52	3	15	Rua Roberto Margonari, 1350	3

Tabela 1: Pontos de visita (Elaborado pelo autor)

Cada endereço é composto de um ou mais médicos a serem visitados. A distância percorrida de ponto a ponto foi coletada via Google Maps, utilizando-se a sequência apresentada no Quadro 1.

A tabela completa das distâncias percorridas de ponto a ponto pode ser encontrada no Apêndice 1. Vale ressaltar que a distância de um ponto i ao ponto j pode ser diferente da distância do ponto j ao ponto i devido a diferentes tipos de caminhos a serem percorridos (rua na contramão; retorno mais distante; fluxo ou contrafluxo etc).

Apresenta-se a seguir o modelo matemático conforme Alves e Delgado (1997). A função objetivo pode ser escrita como apresenta a Equação 1:

$$Z = \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} d_{ij} x_{ij} \rightarrow Min!$$

Equação 1

Sendo:

Z = A distância mínima total percorrida na semana.

i = Pontos de partida ao longo da rota variando de 1 a 15.

j = Pontos de chegada ao longo da rota variando de 1 a 15.

d_{ij} = Distância do ponto i ao ponto j .

x_{ij} = Variável binária indicadora da rota.

Quanto às restrições, as duas primeiras indicam que cada um dos pontos é visitado uma e só uma vez, ou seja, tanto como início quanto como final (Equação 2).

$$\sum_{i=1}^{15} x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, \dots, 15\}$$

$$\sum_{j=1}^{15} x_{ij} = 1, \forall j \in \{1, \dots, 15\}$$

Equação 2

A terceira e ultima restrição indica que entre quaisquer dois subconjuntos complementares de pontos há pelo menos um arco de ligação. Essa restrição evita

que um modelo apresente como solução dois subconjuntos não conectados (Equação 3 e Figura 6).

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in \bar{S}} x_{ij} \geq 1, \forall S \subset \text{conjunto total dos pontos}$$

Equação 3

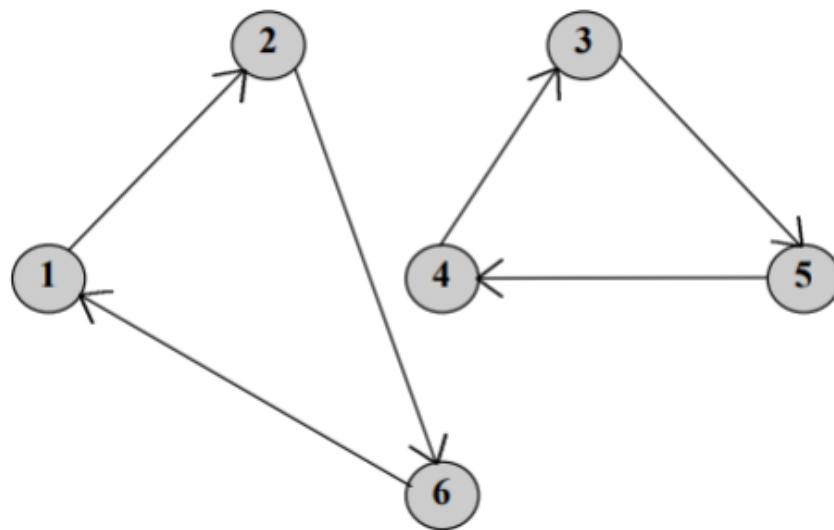


Figura 6: Subconjuntos sem ligações
Fonte: Adaptado de Oliveira, 2018.

5 RESULTADOS

Nesta sessão iremos abordar o que foi feito através do Excel para minimizar as distâncias percorridas das visitas através do programa Solver, diminuindo assim o custo de cada visita médica.

Atraves de uma planilha Excel marcando a distância de cada ponto até outro ponto (conforme tabela no apêndice) foi feito uma tabela de dimensão 16x16 contendo no 0 o ponto de partida e de 1 a 15 a distância ponto a ponto dos endereços visitados na semana.

Na mesma planilha foi inserida uma tabela que continha uma primeira rota inicial, onde o ponto de partida foi o 0 e o ponto de destino era sempre equivalente ao próximo ponto de origem conforme Tabela 2.

De	Para	Distância
0	1	9,3km
1	2	2,6km
2	3	1,6km
3	4	4,7km
4	5	5,7km
5	6	3,1km
6	7	7,4km
7	8	0,75km
8	9	9,5km
9	10	15km
10	11	5,3km
11	12	1,3km
12	13	1,4km
13	14	1,3km
14	15	2,7km
15	0	12km
Total		83,65km

Tabela 2: Distância entre os pontos.

Fonte: elaborado pelo autor

As fórmulas das células foram organizadas para ficarem conforme o modelo matemático. Assim, todas as origens representadas na primeira coluna são iguais ao ultimo destino, conforme se vê na segunda coluna (Figura 6).

From	To
0	1
=B22	3

Figura 7

Fonte: Elaborado pelo autor.

A distância, na terceira coluna, foi buscada através do PROCV onde nas células de B3 até Q18 está a matriz de distâncias conforme Apêndice A (Figura 7)

From	To	Distance
0	1	=ÍNDICE(\$B\$3:\$Q\$18;A22+1;B22+1)

Figura 8**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para os cálculos no Excel, foi utilizado o programa Solver, que é uma potencial ferramenta do Excel que facilita a elaboração de diversas simulações na sua planilha, sendo utilizada frequentemente em análise de sensibilidade com mais de uma variável e quando há limitações de parâmetros. A ativação do Solver na planilha deve ser realizada em Suplementos. É possível usar esta ferramenta para identificar o resultado ideal de uma fórmula em uma célula da planilha (célula destino) com possibilidades de maximizar ou minimizar valores, ou alcançar uma meta de valor específico (NOGUEIRA, 2014).

O Solver ajusta a um só tempo as variáveis das células que forem especificadas (células ajustáveis) para se alcançar um resultado desejado através da célula destino, para atingir o resultado esperado através da célula de destino, sendo necessário um input para se executar o Solver.

O método Evolutionary Solver é escolhido se a célula objetivo e as células de restrições forem determinadas a partir de funções cujos resultados variarem de forma repentina. Um exemplo para o uso do Evolutionary Solver: quando se usam fórmulas do tipo condicional (IF, SUMIF etc.) assim como ABS, MIN ou MAX para calcular o valor da célula-objetivo ou de restrições, “[...] o declive varia radicalmente a pequenas variações das variáveis de decisão, assim como o resultado.” (NOGUEIRA, 2014, p.01).

O caminho ótimo conforme a tabela abaixo (Tabela 3) foi de 61,9km. Esse caminho ótimo feito através do programa Solver que demorou 1 minuto e 10 segundos para ser resolvido pelo Excel no Notebook Dell Inspiron, Core I7-7500 CPU 2.9 GHz 7ª geração, com 16GB de memória RAM e SSD de 250GB Samsung.

De	Para	Distância
0	1	9,3km
1	3	2,1km
3	2	1,8km
2	4	3,4km
4	6	6,2km
6	5	3km
5	10	0,9km
10	14	2,4km
14	12	0,4km
12	11	0,95km
11	15	1,3km
15	13	1,2km
13	8	2,1km
8	7	0,75km
7	9	9,1km
9	0	17km
Total		61,9km

Tabela 3 : Caminho Ótimo
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Foram feitos outros dois testes saindo do mesmo ponto de partida, porém com primeiro destino diferente e demais destinos variando em sequência onde a distância total de cada um desses testes consta na Tabela 4, elaborada pelo autor:

Rota inicial	Distância Total
0 ao 1	83,65km
0 ao 2	92,25km
0 ao 3	94,75km
0 ao 4	93,65km
0 ao 5	88,35km
0 ao 6	92,25km
0 ao 7	88,95km
0 ao 8	96,6km
0 ao 9	93,85km
0 ao 10	85,35km
0 ao 11	88,05km
0 ao 12	92,95km
0 ao 13	92,95km
0 ao 14	93,05km
0 ao 15	91,65km

Tabela 4. Sequência de distâncias

Fonte: Elaborada pelo autor

Antes de rodar o Solver, o menor caminho era de 83,65km iniciando no ponto 0 e indo até o ponto 1. Após utilizar o programa, chegou-se à conclusão que caminho ideal era de 61,9km onde chegou-se em uma redução de 26% em relação ao menor caminho previamente calculado, causando assim não só uma economia de distância e tempo, mas economias com desgaste do carro, combustível entre outros.

6 CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi otimizar a visita médica, reduzindo a distância percorrida (problema do caixeiro viajante) através do caminho ótimo, utilizando de ferramentas da Pesquisa Operacional junto ao Solver no Excel.

O problema do caixeiro viajante nesse trabalho foi realizado buscando a distância de ponto a ponto através do Google Maps³. Usando o programa Solver no Excel, rodamos as fórmulas para buscarmos o caminho ótimo.

O resultado encontrado foi um caminho ótimo passando pelos 15 pontos de visitação com uma distância de 61,9km, reduzindo a distância em 21,75km do primeiro caminho traçado (83,65km), ou seja, uma redução de 26% da distância total.

Esse resultado faz com que a empresa tenha uma minimização de custos com combustível, manutenção e depreciação do veículo, além de permitir que o propagandista, em menor espaço de tempo consiga visitar mais clientes por dia.

Para as limitações do trabalho (determinada quantidade de pontos -15), usamos o excel. No entanto, poderíamos ter utilizado outra ferramenta, observando que alguns locais possuem mais de 1 médico, porém não consideramos este aspecto no modelo, uma vez que pesquisamos em site do google que pode apresentar alguma diferença de distância entre o real e o calculado pela referida fonte consultada.

Vale lembrar ainda que outra limitação do trabalho foi o fato das visitas ocorrerem em 3 dias de trabalho, pois há pontos de visitação onde existem mais do que 1 médico para visitar. Ao final de cada dia é preciso voltar ao ponto de partida, o que não foi calculado no trabalho.

A partir deste trabalho, temos possibilidade de realizar pesquisas futuras considerando a quantidade de médicos em cada ponto a ser visitado, colocando um peso de importância em cada um deles. Junto desse ponto, além de avaliar a menor distância como foi feito, podemos também reduzir o custo gerado pelas visitas e o tempo para realizá-las.

REFERÊNCIAS

ALVES, R; DELGADO, C. **Processos estocásticos**. Portugal: Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 1997.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

³ Disponível em: <https://support.google.com/maps/answer/...GENIE...hl=pt-BR>. Acesso: 11/07/2019.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**: Transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2009.

BENEVIDES, P. F. Aplicação e análise de alguns procedimentos de construção de rota para o problema do caixeiro viajante. **Revista Ingeniería Industrial**-Año 11 N°1: 17-25, 2012.

BERGER, M. Estruturas de Dados. Problema do Caixeiro Viajante. Disponível em: http://inf.ufes.br/~mberger/Disciplinas/2015_2/EDII/trab1.pdf. Acesso em 12/07/2019

COELHO, L.C. **Pesquisa Operacional**: uma visão geral. 17 de fevereiro de 2010. Disponível em: <https://www.logisticadescomplicada.com/serie-pesquisa-operacional-uma-visao-geral/>. Acesso em 23/10/2018

DIJKSTRA, E.W. **Algoritmo de Dijkstra**. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_Dijkstra... Acesso em 10/10/2018).

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1995. 2002

LISBOA, F.S. **GRASP para o problema de roteamento de veículos com multi-compartimentos e restrição de janela de tempo**. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes – RJ, Fevereiro, 2007

LOGÍSTICA DESCOMPLICADA. Problema de roteamento de veículos., 2018. Disponível em: <https://www.logisticadescomplicada.com>. Acesso em 10/10/2018).

MARA, P. Importância da logística para as empresas. **Comunidade Administradores**. 28 de agosto de 2013. <http://www.administradores.com.br/artigos/academico/a-importancia-da-logistica-para-as-empresas/72607/>. Acesso em 03/10/2018.

NOGUEIRA N. Solver: Qual o método de resolução de problemas a escolher? **Portal Gestão**, 2016. Disponível em: <https://www.portal-gestao.com/artigos/7887-solver-qual-...> Acesso em 06/06/2019.

OLIVEIRA, P.S. **Metodologia das Ciências Humanas**. São José dos Campos. SP Hucitec, Unesp, 2001.

OLIVEIRA, I.H.I. et al. Utilização da Pesquisa Operacional para otimização de Rotas de um motorista autônomo na região de São Paulo. **Simpósio de Engenharia em Gestão e Tecnologia**. Out., 2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/7622273.pdf>. Acesso em 13/10/2018.

PALHANO, AWC. **Novos algoritmos de agrupamento e roteirização para distribuição de jornais a assinantes**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará Curso de Mestrado Integrado Profissional em Computação, 2004

PARDINI, D.. Disponível em linear programming – Blog Otimização na Prática
Blog Otimização na Prática - WordPress.com, 2018.

PORFÍRIO V.H.M. et al. O Problema do caixeiro viajante aplicado ao grupo crítico do sistema de entregas de um restaurante. **ANAIS...UNESPAR** Faculdades, 2017. Disponível em: anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/3/3-04.pdf

PÓVOA, C.L.R.. **Geoinformação e logística**: caminho mais curto, roteamento de veículos e o caixeiro viajante. MundoGEO, Abril de 2007.

PRESTES, A.N. **Uma análise experimental de abordagens heurísticas aplicadas ao Problema do Caixeiro Viajante**. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2006.

RODRIGUES, L.H. et al. **Pesquisa operacional**: programação linear passo a passo: do entendimento do problema à interpretação da solução. Fabiano Ahlert (org.). São Leopoldo, RS: Unisinos, 2014.

SANTOS NETO, U.J.; SANTANA, L.C. Logística e serviço ao cliente como estratégia competitiva. **Revista de Iniciação Científica – RIC**, Vol 02, nº 02, p. 97-111. ISSN 2258-1166. Cairu, Jun. 2015.

SPANCERSKI, J.S. Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante para solução de um problema logístico de roteirização. (UTFPR). **VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. Ponta Grossa, 6 a 8 de Dezembro de 2017.

ANEXO

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	9,3	12	11	14	9,7	12	11	11	18	10	10	9,9	10	10	11
1	9,5	0	2,6	2,1	4,6	7,4	9,9	13	14	21	7,7	9,5	8,6	11	8,8	11
2	12	2,5	0	1,6	3,4	9,9	11	14	15	22	10	14	11	13	11	13
3	11	2,3	1,8	0	4,7	8,8	11	15	15	23	9,1	11	10	13	10	12
4	11	3,4	4,8	5,7	0	5,7	6,2	10	10	18	5,8	9,5	7,9	8,9	8,2	8,3
5	10	6,6	11	9,4	9	0	3,1	6,7	7,1	15	0,9	3,1	2,2	4,5	2,4	3,9
6	12	9,3	9,7	12	9,6	3	0	7,4	7,8	15	3,1	6,9	5,2	6,2	5,5	5,7
7	13	14	13	14	13	6,4	7,3	0	0,75	9,1	6,8	2,7	3,2	2,1	3,4	3,5
8	12	14	14	15	14	6,8	7,8	0,75	0	9,5	7,3	2,7	3,2	2	3,3	2,9
9	17	22	21	23	21	14	15	9,3	9,7	0	15	12	13	11	12	12
10	10	8,7	11	9,5	9,2	1,4	3,2	5,8	6,2	14	0	5,3	2,3	4,6	2,4	4,1
11	11	8,9	13	12	12	3	6,3	3,3	3,2	12	3,3	0	1,3	1,6	1,2	1,3
12	11	8	12	10	13	2,2	7	3,1	3	12	2,5	0,95	0	1,4	0,3	1,8
13	11	9	12	12	12	4,3	6,1	2,2	2,1	11	4,6	0,65	1,2	0	1,3	0,65
14	10	7,7	11	9,9	9,6	1,9	4,3	3,5	3,4	14	2,2	1,3	0,4	1,8	0	2,7
15	12	11	11	12	11	4,1	5	2,9	2,8	12	4,5	1	1,7	1,2	1,8	0